Rotura de la presa del Gleno

UNA ADVERTENCIA PRELIMINAR

Se observará al terminar la lectura de este artículo que se trata de un trabajo incompleto, y como tal no podrá satisfacer plenamente el natural interés que merece cuestión tan importante como la que suscita en el terreno de la técnica constructiva la gran catástrofe de que tienen ligera noticia los lectores de esta REVISTA.

Una parte de esta falta se debe, desde luego, a que no haya podido realizar la visita y hacer esta información, por razones bien ajenas a su voluntad, el que fué primeramente nombrado para ello, mi distinguido compañero y profesor de la asignatura correspondiente, D. José L. Gómez Navarro, cuya gran competencia es indiscutible.

Otra causa que obliga a omisiones voluntarias se debe a la natural reserva que debe existir, y que comprenderán perfectamente nuestros lectores, en todo lo que se refiera a emitir juicios críticos y hacer apreciaciones personales que, no pudiendo estar fundadas en hechos y datos completamente exactos, pudieran derivar a conclusiones equivocadas, que sentiríamos vivamente formular, tanto más cuanto que hemos de corresponder a la deferente acogida que allí hemos tenido, para la cual he de consignar en estas columnas mis palabras de agradecimiento a las autoridades de la provincia de Bergamo y a los colegas de aquella nación, sin cuya ayuda no hubiéramos podido obtener gran parte de los datos y de la información gráfica que hemos realizado.

DESCRIPCIÓN DEL DESASTRE

Antes de entrar en el tema concreto que titula este artículo, suponemos que interesará alguna ligera descripción de la catástrofe, y entresacamos de los extensos relatos que contenían los diarios milaneses unas pocas líneas reveladoras de la gran emoción sentida en el país en los primeros momentos del desastre, y después la nota oficial.

Dicen aquéllos:

"Una nube blanca, un golpe fulminante, un trueno espantoso; después, el silencio infinitamente trágico de la catástrofe consumada.

La masa enorme de algunos millones de metros cúbicos había pasado; esparciéndose en el valle de Gleno se precipitó en Val d'Angolo, y llevando árboles, troncos, tejados, casas, máquinas, bombas, animales, mezclados en una masa turbulenta, y horrible corriente fangosa, llegó a la etapa del desastre: la desembocadura en Valle Camonica.

"La estrecha y profunda garganta de Val d'Angolo, que parece que por una fatídica previsión denomínase vía Mala, centuplicó la ciclópea fuerza del agua desparramada del embalse de Gleno, y libre, ya a la salida, se lanzó con potencia infernal sobre los lugares situados a la desembocadura, para que se cumpliese el último estrago.

"Los poquísimos testigos oculares transcriben la espantosa escena con la sencilla frase del montañés: "Fué como un rayo, y después nada." Domingo Belinghiere, un joven aldeano que se había encaminado a Dezzo para adquirir provisiones, tuvo delante de sus ojos la visión del daño que pasaba golpeando y sumergiendo, y quedó como desmayado. Una fuerza oculta e inaudita se había esparcido sobre las casas y los puentes; delante de él, un curso de agua fangosa y acumulada de árboles y troncos..."

La nota oficial dice:

"La entidad del desastre provocada por la rotura del dique del lago Gleno aparece gravísima. La cifra de las víctimas, no fijada exactamente, se calcula en cerca de 500 en las comarcas castigadas por el desastre, pertenecientes a las provincias de Bergamo y de Brescia.

"Hasta ahora han sido buscados y desenterrados del fango 137 cadáveres, casi todos irreconocibles. En Darfo solamente se han recogido un centenar. Cerca de Corna la fuerza del agua ha atacado 160 m de vía, situada en terraplén, que está en gran parte destruído; pero ello ha servido para salvar buena parte del país de Darfo, desviando el ímpetu de la corriente, que ha vertido más al Sur, en el lecho del río Oglio.

"En el valle de Angolo se ha destruído un trozo de la pintoresca y famosa vía Mala. Todo el resto del camino está anegadísimo. De las siete centrales eléctricas que producían, en junto, 20 000 caballos de fuerza, no se ha salvado nada. Hasta las fundaciones de las máquinas han sido arrancadas.

"Los supervivientes de la inmensa tragedia cuentan espantosos episodios de ruina. El recuerdo de la enorme avalancha líquida, de las máquinas y árboles que se precipitaban derrumbando las viviendas, destrozando casas, bosques y caminos, ha dejado como alelados a los desventurados espectadores. Innumerables cabezas de ganado se han extraído del barranco. Masas enormes de muchos metros cúbicos han resultado transportadas al valle del Oglio.

"Las autoridades sanitarias y algunas del *Genio civile* han trabajado activamente todo el día, disponiendo todo lo necesario para restablecer lo antes posible la comunicación ferroviaria y por carretera con la alta Val Carmonica."

Para terminar esta parte de la Memoria, consignaremos que en pocos minutos ha quedado inutilizada una obra que ha durado cuatro años, empleándose en ella 600 obreros y carpinteros, mas 400 en la tubería forzada, que ya el año 1922 empezó a funcionar y ha producido de 6 a 7 millones kilovatios-hora con destino a las fábricas brescianas.

Y añadiremos también que, según declaración del ministro de Trabajos públicos, en la contestación a las interpelaciones referentes al desgraciado suceso, la obra se había efectuado sin tener aprobado el proyecto y se utilizaba el embalse sin que hubiese sido reconocido por la Administración y autorizado su funcionamiento.

OPINIONES Y DICTÁMENES TÉCNICOS

A la primera e inmensa impresión de dolor y de conmiseración por tanta desgracia, unida a tantas pérdidas materiales, que traen consigo un estado lastimoso en el porvenir inmediato de la región devastada, se ha sucedido un movimiento de gran interés y curiosidad en el sector de opinión que directamente interviene en el planteamiento y ejecución de esta clase de trabajos, en cuanto se relaciona con las causas que han producido la catástrofe y tanto más cuanto que se trata de un sistema de presas que empieza a implantarse, y con arreglo al cual existen varios proyectos en tramitación y algunos en vísperas de ejecución en aquella nación.

Así, pues, no extrañará que la obra haya sido visi-

tada después de la catástrofe por muchos ingenieros, entre los que figuran los nombres más salientes de los especialistas en ingeniería hidráulica, algunos de los cuales han emitido opiniones en diarios o en Sociedades señalando causas probables de la rotura, indicando camino para encauzar las investigaciones sobre los motivos de la ruina, etc., que no insertamos, tanto por no alargar demasiado este trabajo, como porque consideramos innecesario consignar opiniones algunas veces contradictorias, otras rectificadas y todavía con pocos fundamentos para que puedan constituir un dictamen preciso.

Citaremos como uno de los actos más importantes relacionados con este asunto, la reunión que celebró el Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Milán, en la cual, después que los ingenieros Mina, Danusso y Mangiagalli emitieron su opinión sobre las causas probables de la rotura, aprobaron, por unanimidad, una orden del día relativa a la necesidad de la inspección y vigilancia de esta clase de obras, tanto en lo relativo a la aprobación del proyecto, como a su ejecución, deseando que esta catástrofe no sea motivo para suspender obras análogas o para retrasar las que están en curso de ejecución.

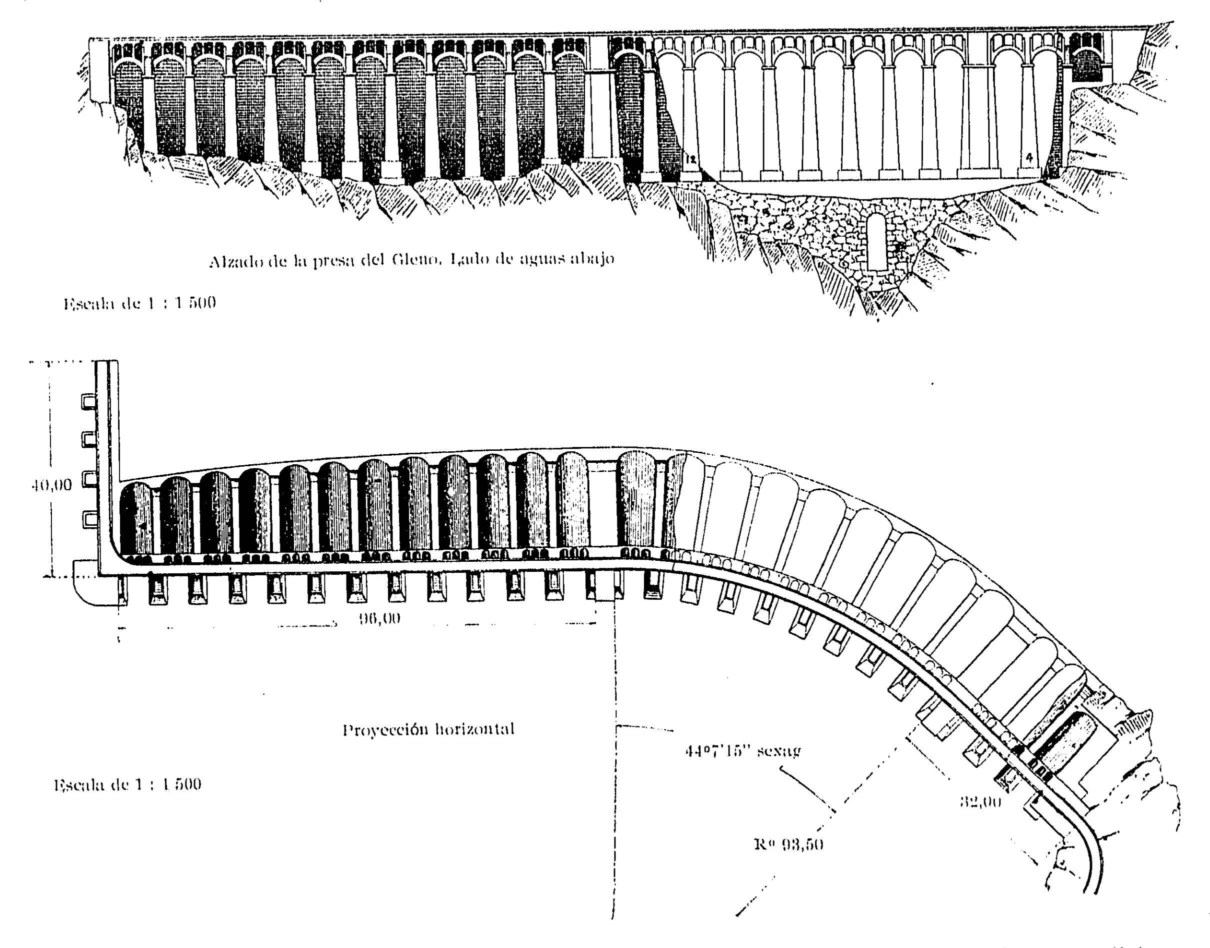
El juez instructor ha designado como peritos para indagar las causas de la rotura a los competentes ingenieros Sres. Ganasini y Danusso.

Por otra parte, el Gobierno italiano ha nombrado una Comisión formada por el inspector general consejero Corza y los ingenieros Fantolli y profesor Guidi, para que emitan informe sobre la situación y condiciones en que se encuentran los diques ya construídos o en construcción.

DESCRIPCIÓN DE LA PRESA

El alzado de la presa visto de agua abajo, la sección transversal y las diversas fotografías dan clara idea de la obra y nos permiten ahorrar algún espacio en su descripción. La presa de arcos múltiples, cuya planta está formada de dos rectas ligadas por un arco circular, se apoya en la parte central del perfil transversal del valle, en un macizo que rellena la hoya donde discurría el antiguo cauce, construído con arreglo al perfil de gravedad. En este macizo está situada la galería de fondo. Tiene en la parte inferior un ancho de 4 m, de modo que la presa comienza con este ancho para terminar con 264 en la coronación.

El labio del vertedero está situado próximamente en la cota 1 548 m. Con un metro de altura sobre este nivel puede desaguarse por aquél un caudal de 50 m³, siendo así que el máximo observado en la localidad, en el lugar llamado Puente Gleno, ha sido de 6 a 7 m por segundo, en noviembre de 1916, en condiciones de máxima afluencia.



Alzado de la presa del Gleno. Lado de aguas abajo

Escala de 1 : 1 500

Proyección horizontal

Escala de 1 : 1 500

En el citado perfil transversal se han acotado todas las dimensiones y alturas necesarias para darse idea del proyecto que completan los demás dibujos, alzado desde agua abajo (con la representación de la parte arrastrada) y plano.

Pocos metros agua arriba de la presa, y en el fondo del embalse, se encuentra una toma de tipo corriente, con su correspondiente rejilla para el canal de toma, que, casi siempre en galería, bajo el embalse y agua abajo de la presa, conduce el agua al depósito donde comienza la tubería forzada para la central llamada Molino de Povo.

El embalse se fija en cantidad aproximada a 5 400 000 m³.

SITUACIÓN Y OBJETO DE LA OBRA

A unos 70 km hacia el Norte de Bergamo, capital de la provincia de su nombre, se encuentra el macizo del Gleno (2 852 m), en la cadena que separa el valle del Scalva y el valle Seriana, y sus abundantes y casi per-

petuas nieves alimentan, entre otros, el torrente *Gleno* y el torrente *Povo*, que, pasando entre Oltropovo y

Sección transversal

Escala de 1 : 400

Vilminore, desemboca en el valle Dezzo. Desde el pueblo de Schilpario, situado en él, comienza una serie de aprovechamientos hidroeléctricos en el curso de este río Dezzo, que discurre por el valle llamado d'Angolo, hasta el pueblo de Darfo, en su desembocadura en el río Oglio, tributario a poca distancia de esta confluencia del lago Iseo, donde quedó ya totalmente anulado el efecto devastador de la ola que produjo la rotura de la presa.

Cuatro de estas centrales, y con mayor intensidad la inmediata al pueblo de Dezzo, sufrieron el efecto destructor de la corriente, que arrasó las fábricas y caseríos en forma verdaderamente increíble, y que solamente se explica por la triple circunstancia de la enorme masa, gran pendiente y estrechez del valle, que dió lugar a que alcanzara el agua una altura de 22 m (que algunos elevan a 30) sobre el álveo del río.

Quedaba por utilizar el gran desnivel próximo a 700 m que existía entre el llano de Gleno y la confluencia del arroyo Pova y el torrente Dezzo, y de esta consideración nació la idea de construir un embalse en Gleno.

Al ingeniero Ginur (Giuseppe) se debe la idea de crear el embalse en Gleno.

Con la base de un anteproyecto de dos aprovechamientos, uno suscrito por el ingeniero A. Torana, en el Povo inferior, y otro en la llanura del Gleno, suscrito por los ingenieros Giovanni Zarelti y Giuseppe Ginur (ya citado), se otorgó a la Sociedad Vigano una concesión por el prefecto de Bergamo en 31 de enero de 1917. En el primero se pedían 375 litros de caudal, para una altura de 182 m, y en el segundo, 250 litros, para una altura de 510 m.

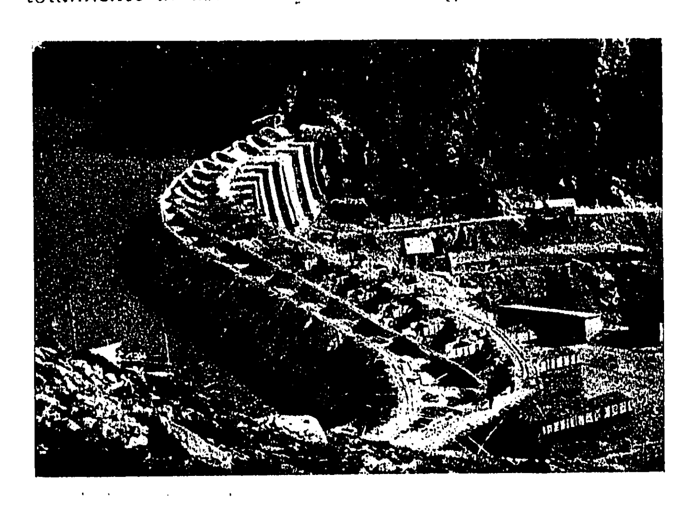
Suprimiremos, para no alargar este relato y presentar poco interés al objeto principal de este trabajo, todas las vicisitudes que sufrió esta concesión, tanto por dificultades en la época de la guerra, como por modificaciones de proyecto.

Bastará consignar que, después de alguna prórroga y de haber solicitado más tarde la declaración de urgencia para los trabajos, que el Ministerio retardaba en conceder hasta que no se presentase el proyecto completo de aprovechamiento, fué concedida en 5 de julio de 1923 tal declaración, una vez presentada por la Sociedad Gallezzo Vigano, en 18 de mayo de 1923, la instancia y proyecto ordenados. Entonces la obra estaba ya tan adelantada, que había empezado su funcionamiento, como hemos dicho anteriormente, habiéndose llevado a cabo los trabajos por la Sociedad Fratelli Vigano con arreglo al proyecto del ingeniero D'Angelo de Palermo.

VISITA A LA OBRA

Siendo interesantísima la visita a la obra, tanto por la contemplación de un sistema de presas de embalse que es relativamente moderno, aún no empleado en España, como por el examen de la ruina parcial de la misma, a todo lo cual forma marco grandioso de agreste belleza el paisaje en el que está enclavada, no pudieron obtenerse de ella todos los datos que se desearan para juzgar debidamente el asunto por dos circunstancias. Es la primera que el lugar, ya salpicado de nieve depositada en los hoyos y hendiduras del terreno en el día de la rotura, iba cubriéndose cada vez más, ocultando gran parte del terreno en el día de nuestra visita.

Es la segunda, de más importancia, que por la índole de la rotura, esto es, por la enorme fuerza destructora de la corriente establecida, todos los elementos de la obra rotos y desprendidos han sido casi totalmente arrastrados y llevados a gran distancia, fal-



Vista general de la presa en construcción

tando aquellos elementos de juicio que en otros hundimientos o sucesos análogos quedan subsistentes y sirven para auxiliar en las deducciones y razonamientos que puedan hacerse sobre las causas de la catástrofe.

Como se puede observar en las fotografías que se acompañan, ha sido arrastrado un tramo de presa que era el que tenía forma circular en planta y que constaba de nueve pilas, con las bóvedas que lo unían a los inmediatos.



La rotura de la presa vista desde aguas abajo

Estas pilas, a partir de la margen izquierda, tenían los lugares 4.° al 12, y entre ellas existía una de las reforzadas y que podríamos denominar pila estribo.

La rotura se ha efectuado en esta margen izquierda como si se hubiese producido un corte perfecto, según el plano de arranque de la bóveda que se apoyaba en la tercera pila, que ha permanecido intacta.

En el lado opuesto de la rotura ha quedado una porción de la pila o contrafuerte núm. 12 y parte de la bóveda contigua destrozada en fragmentos ligados por la armadura metálica, encontrándose agrietada y deteriorada en varias partes la pila o contrafuerte núm. 13. En este punto es donde únicamente quedan, pues, algunos elementos de la masa arruinada que no han sido transportados por la corriente.

Con el tramo de presa de arcos múltiples ha sido arrastrada una parte del basamento que cerraba la hoya central del perfil transversal, según una sección próximamente horizontal y a poca distancia de la bóveda de la galería de fondo.

En el perfil longitudinal y alzado de la presa, visto desde agua abajo, hemos trazado la línea sinuosa que con bastante aproximación señala la porción de presa que ha sido arrastrada.

A la vista de sus dimensiones, unos 60 m de longitud y 28 de altura, y teniendo en cuenta que la pendiente del lecho del torrente será de un 20 por 100, por término medio, en su primer tramo, se comprende perfectamente que el vaciado del embalse se efectuara en pocos minutos (6 a 9, según las versiones de los testigos supervivientes), y se explica la intensidad del desastre.

Conocidos ya muchos antecedentes de la obra y de la catástrofe antes de visitar aquélla, en posesión de muchas fotografías y obtenidos de palabra muchos datos, se nos facilitó mucho la inspección ocular, evitándonos divagaciones y pérdidas de tiempo. Nuestro examen tuvo dos partes: una, la comprobación de algunos datos, y otra, el estudio de la zona en que se verificó la ruina, detallando a continuación el resultado del mismo.

TERRENO DE FUNDACIÓN

El aspecto exterior y aparente a nuestra vista del gran macizo dolomítico en que se asienta la presa aleja la suposición de falta de resistencia en el terreno de cimentación y apoyo, no creyendo probable ningún corrimiento o movimiento del mismo.

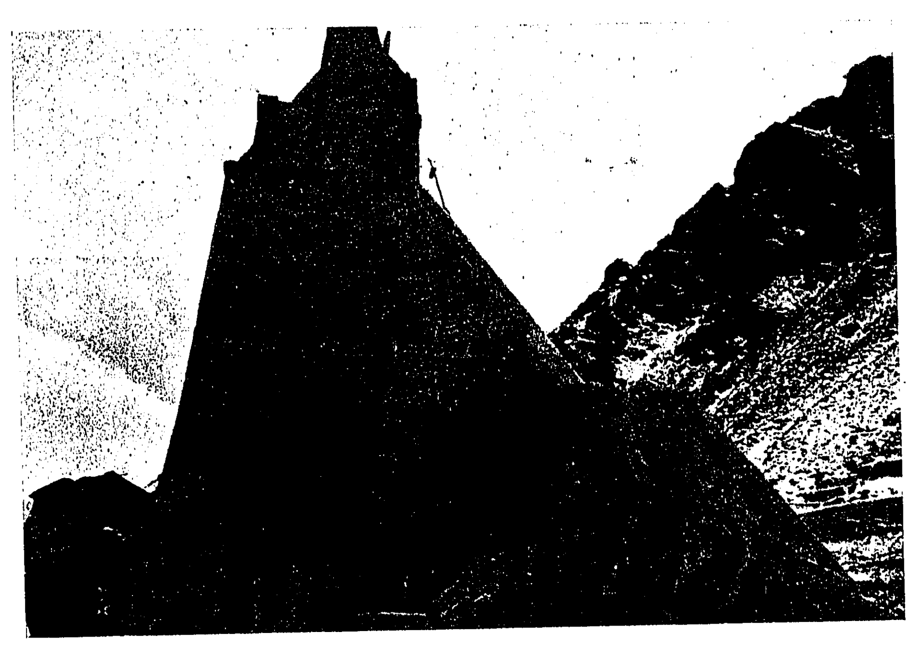
MACIZO QUE LLENABA LA HOYA QUE PRESENTA EL PERFIL LONGITUDINAL

Esta parte de la obra ha sido arrastrada en su parte superior hasta una altura de unos 90 cm por encima del arco de la galería de fondo. Está formada por una mampostería con mortero de cal hidráulica en la zona visible.

PILAS O CONTRAFUERTES

En el que ha quedado subsistente en la margen izquierda, donde como se ha dicho fué como cortada a cuchillo, según la sección de arranque, la bóveda inmediata, que ha sido arrastrada, se ha observado alguna pequeña imperfección en el hormigón correspondiente. Ninguna deducción se ha podido hacer por nosotros respecto a la armadura retorcida y oxidada, pues sería necesario cortar repetidas muestras y realizar ensayos que nosotros no podíamos, naturalmente, efectuar.

En la parte derecha de la rotura, según se ha dicho ya y se observa en las varias fotografías, existe una muy pequeña parte de una pila y otra de casi toda su altura muy deteriorada en su parte superior. En ésta son muy interesantes unas grietas que aumentan del centro hacia el paramento de aguas abajo en número de dos, las más visibles, que se advierten perfectamente en las fotografías.



Grieta en el último contrafuerte que no cayó

En los fragmentos de bóveda arruinados en aquel sitio, construídos de hormigón con mortero de cemento, como las pilas, no se ha observado ningún detalle digno de mención.

PARAMENTO DE AGUA ARRIBA

Es un dato interesante la existencia de una grieta próximamente horizontal, de bastante importancia, en el paramento de agua arriba por debajo del plano de asiento de los contrafuertes que muestran las fotografías.

ESTUDIO DE LA ROTURA DE LA PRESA

Del examen de los planos de la obra y del resultado de la visita a la misma hemos deducido consecuencias que irán exponiéndose a continuación, y que nos han servido para establecer las hipótesis sobre las causas que han podido producir la rotura, y decimos hipótesis porque, en general, consideramos difícil poder con precisión fijar la causa o causas que motivaron la ruina de una obra, cuando de antemano, como ocurre en el caso presente, no existe una razón de visible evidencia para fundamentarla.

Pero, además, la falta de datos, unos referentes a las características de los materiales empleados, otros referentes al conocimiento exacto del terreno de fundación y la inseguridad de algunas dimensiones de la obra, que no se conocen más que aproximadamente, sobre todo en la parte destruída, no nos permite más que señalar causas probables, que quizás todas influyan en el fenómeno de la rotura, pero sin poder asignar en qué porporción puede influir cada una de ellas.

SISTEMA DE LA PRESA

Prescindiendo de examinar en este momento las circunstancias de hallar en cierta parte de la obra una superposición de dos tipos de perfil, el sistema elegido para la presa, perfectamente racional, aunque de adopción relativamente moderna, tiene ya la sanción de la práctica, puesto que además de las construídas en Norteamérica (Bear Valley, Dieguito, lago Eleanor, lago Hodges, etc., y en Francia, sobre el Selune (Mancha), se ha adoptado en Italia, donde funciona hace tres años la ejecutada sobre el Scoltenna (proyectada por el ingeniero Gaetano Ganasini), y está en ejecución muy adelantada la de Tirso, en Cerdeña (proyectada por el ingeniero Luigi Kambo).

La disposición general de la parte de presa de arcos múltiples, con las diferencias que han de existir entre unas y otras obras de esta clase dependientes de las características del embalse, se ajustan a lo que sobre este tipo de perfil se ha proyectado y construído por diversos ingenieros. Así, la separación entre ejes de los contrafuertes o pilas (8 m); luz de la bóveda (6 m); taludes de agua arriba en las bóvedas (3 m de base por 4 m de altura); talud de agua abajo en los contrafuertes, altura de la presa, etc., son valores muy próximos a otros que conocemos de obras análogas. Con ello queda, pues, establecido que no se han dado a los elementos de la obra dimensiones que queden fuera de los valores hasta ahora adoptados en este clase de construcción.

BÓVEDAS

La bóveda, elemento que puede señalarse como el primordial en este sistema, tiene espesor de 0,40 m en la parte superior de la presa y 0,80 m en la base.

Si recordamos aquí que la proyectada por el malogrado ingeniero Sr. Zafra, para una altura de 60 m e igual luz, tiene espesores variables entre 0,30 y 0,45 m; la de Big Bear Valley (California), de 28 m de altura, entre 0,30 y 0,65 m; la de San Dieguito, entre 0,30 y 0,80 m; la de Selune (proyectada por Considere y otros), entre 0,12 y 0,16 para 15 m de altura, citada como modelo de economía en dimensiones, deducimos que, supuestas bien calculadas las armaduras metálicas, las bóvedas de la presa que examinamos tienen dimensiones que garantizan su estabilidad.

La fórmula que contiene el referido proyecto del señor Zafra

$$e^3 = 16 \delta z \times \frac{r^3}{E}$$

siendo δ = densidad agua,
z = altura,
r = radio,
E = coeficiente de elasticidad,
nos dará para $z = 27$, o sea en la base de las bóvedas,

$$e^3 = 16 \times 1 \times 27 \times \frac{3^3}{1\,500\,000} = 0,0077$$

de donde $e = 0,198$.

La fórmula de ensayo de algunos ingenieros americanos

$$e = \frac{pr}{q}$$

en que p = presión en kilogramos por metro cuadrado; r = radio del trasdós y q = esfuerzo medio en kilogramos por metro cuadrado, nos dará:

$$e = \frac{27\,000 \times 3,60}{30\,000} = 0,32 \text{ m en la base.}$$

Vemos, pues, que ambos valores son muy inferiores a los adoptados.

Estas comparaciones y pequeños tanteos y las deducciones que se han hecho en la visita a la obra alejan, en opinión nuestra, la idea de achacar la rotura a defectos de proyectos de las bóvedas. En efecto; la circunstancia de que no hayan sufrido deterioro alguno todas las bóvedas que están situadas a ambas lados de la rotura, muchas de ellas de la misma altura que las centrales, creemos que nos permite, con fundamento, excusarnos, en la investigación de las causas, de hacer un estudio o examen más detallado de esta parte de obra que consideramos bien proyectada.

Por otra parte, de la declaración del guarda de la presa, que, aunque a nuestro juicio debe juzgarse con reserva, dado el natural trastorno y excitación de que estaría poseído, parece deducirse que la iniciación de la rotura se produjo abriéndose una grieta en uno de los pilares, y es natural que, faltando el apoyo, la destrucción de las bóvedas era el efecto consiguiente, pero no la causa.

ESTUDIO DEL TRAMO CENTRAL

En el tramo donde se ha producido la rotura hemos de consignar las siguientes observaciones, algunas ya mencionadas:

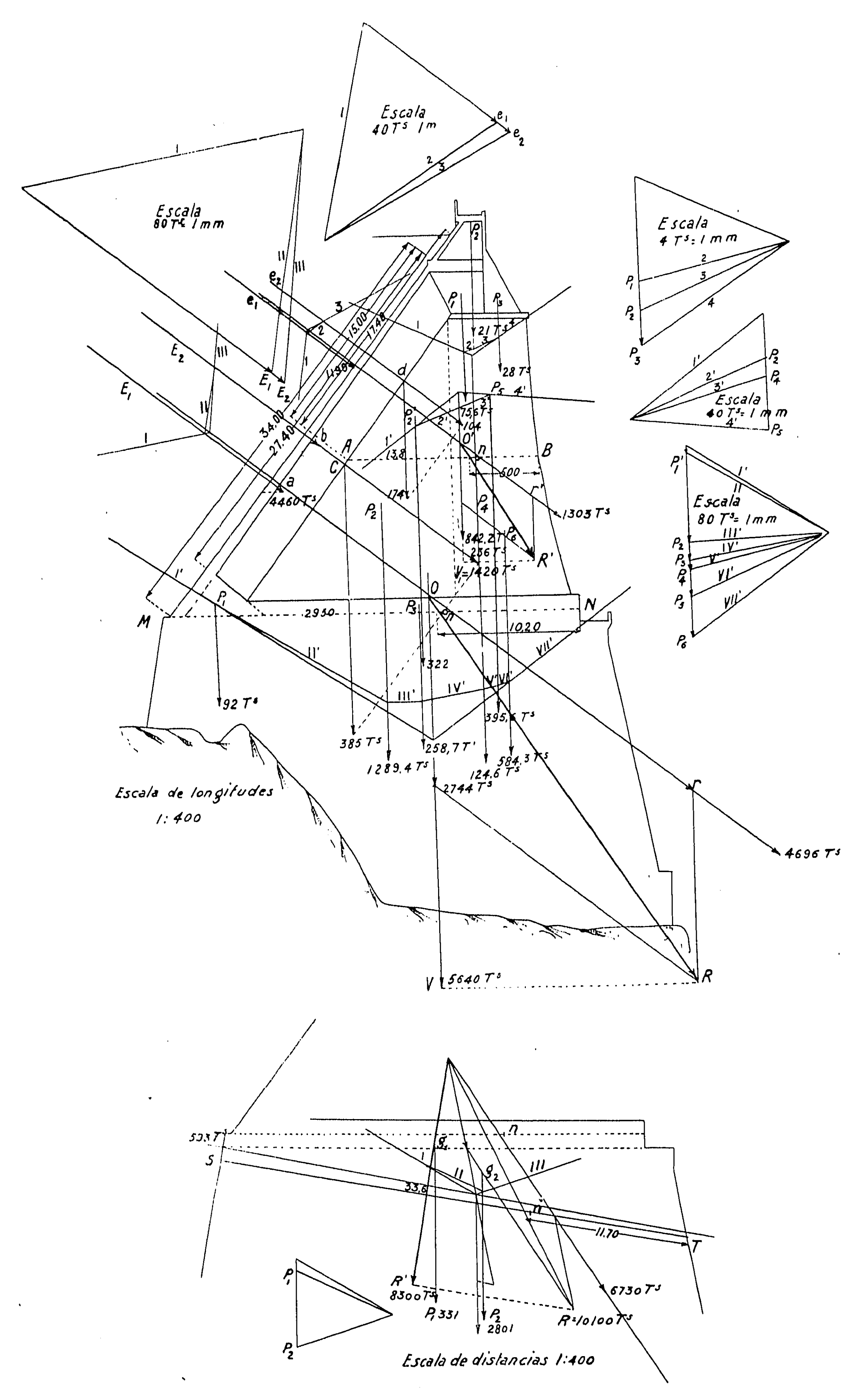
a) Existe una superposición de perfiles: el de arcos múltiples y el de gravedad.

b) El basamento constituído por éste último está construído, por lo menos en la parte que de él queda al descubierto, con cal hidráulica.

c) Se observan grandes grietas próximamente horizontales en este basamento, en el paramento de agua arriba de la presa, en las zonas próximas a la rotura.

Una vez esto consignado, hemos creído conveniente comprobar la estabilidad con arreglo a los datos más aproximados posibles a la realidad, sin cuyo resultado no podríamos obtener deducciones provechosas, pues es necesario tener idea de los esfuerzos desarrollados en el basamento.

Anticiparemos que los resultados que vamos a obtener no pueden ser iguales a los que se hayan deducido en el proyecto que, retenido por orden judicial,



Cálculo gráfico de la estabilidad de un contrafuerte

no ha podido ser copiado ni examinado como hubiéramos deseado, y dada esta circunstancia, han de existir diferencias por los motivos siguientes:

a) Posible disconformidad entre las hipótesis sobre la aplicación de las cargas para el desarrollo del cálculo gráfico.

b) Existencia de pequeñas diferencias en las dimensiones de la obra.

c) Inseguridad en los valores de las densidades de los materiales empleados en ella.

Esto no obstante, hemos de confiar en que todas las diferencias no han de existir en igual sentido y que habrá compensaciones que harán que los resultados se aproximen bastante a los verdaderos.

Dibujamos el perfil transversal correspondiente a la hoya macizada con fábrica de mampostería hormigonada, donde la planta es circular, y se supone una capa de agua con un metro de altura sobre el labio del aliviadero, que es el resguardo adoptado por el autor del proyecto.

Asignamos a la fábrica de los contrafuertes y macizo central una densidad de 2,49, que también se empleó en el proyecto, y considerándola algo elevada, compensemos esta cifra aceptando para el hormigón de las bóvedas el valor 2,4.

Determinamos las cargas totales en tres secciones: una a mitad de altura de los contrafuertes, según AB; otra en el plano de asiento de las bóvedas, o sea a la mitad de altura del zócalo de aquéllos, según MN, y, por último, sobre una sección inclinada, según ST, que es próximamente la superficie según la cual se ha producido la rotura.

El empuje del agua se considera actuando normalmente sobre la superficie del trapecio que forman las dos líneas culminantes del trasdós de dos bóvedas inmediatas; pero, para la mayor exactitud de este cálculo, según recomiendan algunos autores, se aproxima al contrafuerte el punto de aplicación para asignarle una posición media respecto al arco escarzano que en sección horizontal dibuja el paramento exterior de una bóveda. La conocida fórmula

$$d = \frac{1}{2}\, m\, \frac{l + 3l'}{l + 2l}$$

en que *m* es la mediana del trapecio y *l* y *l'* las bases superior e inferior, nos da la distancia, según la mediana, al centro de presión.

Los trapecios para las dos secciones consideradas tienen los siguientes datos:

Sección inferior: $m = 34$, $l = 8{,}60$, $l' = 10{,}40$.
Idem intermedia: $m = 17{,}4$, $l = 8{,}60$, $l' = 9{,}66$.

La fórmula

$$p = \frac{\delta \operatorname{sen} \theta (l + 2l')}{6} \times m^2$$

nos da el valor del empuje; en nuestro caso, δ = densidad, agua = 1, y sen θ para la generatriz de trasdós, es igual a $\frac{67}{85}$, muy próxima a $\frac{68}{85} = \frac{4}{5}$, que es la inclinación del paramento de agua arriba de los contrafuertes, como ya se ha dicho anteriormente.

Los empujes para las dos secciones son

$$E_1 = 4\,460 \text{ toneladas}$$
$$e_1 = 1\,199 \text{ ídem}$$

Para tener en cuenta el peso de las bóvedas hemos aceptado el procedimiento de algunos ingenieros americanos, que consiste en aplicar para todo su volumen, cuya sección generatriz es un trapecio, la descomposición del peso según la inclinación del contrafuerte y normal a éste. Aquella componente se transmite al apoyo de la bóveda; la segunda actúa en la misma dirección del empuje del agua. El punto de aplicación de la resultante estará, por tanto, a la altura del centro de gravedad del trapecio generador de la bóveda, que se ha determinado por la conocida fórmula

$$d = m \times \frac{l + 2l'}{3(l + l')}$$

en la que *m*, *l* y *l'* tienen la significación ya mencionada.

El peso correspondiente a un volumen comprendido entre un tronco de cono y un cilindro está calculado por la fórmula

$$P = \delta \times \frac{1}{6}\, \pi (r^2 + r'^2 + rr' - 3r''^2)$$

en que δ = densidad, $r = 3{,}35$, $r' = 3{,}80$ y $r'' = 3$ m, y para la sección intermedia, el radio 3,80 se convierte en 3,60.

Los valores de los dos pesos son 385 ts y 174 ts, los que, transportados al gráfico, se han descompuesto en las direcciones antedichas, dando los empujes normales al paramento del contrafuerte de 236 y 104 ts.

Descomponiendo en diversas partes el volumen correspondiente a un contrafuerte y parte del zócalo, al objeto de facilitar su cubicación y la determinación de los centros de gravedad, se han obtenido los pesos que se han compuesto con los empujes oblicuos antes hallados.

Se observará en la figura la composición de los tres pesos correspondientes a la calzada superior, bóvedas horizontales de enlace de los contrafuertes y prismas triangulares sobre la imposta de éstos. El cuerpo del contrafuerte propiamente dicho se ha descompuesto en tres partes, cuyos paramentos son de figura triangular el primero y aproximadamente trapecial los otros dos. En todos ellos, estas superficies de paramentos son, teóricamente, alabeadas, por corresponder a la parte en curva; pero, para mayor sencillez, se han tomado espesores medios, asimilándolos a prismas, lo cual apenas produce error en el volumen ni en la situación de los centros de gravedad.

Omitimos fórmulas y cálculos, sobradamente conocidos, pues se trata de cuerpos geométricos elementales, y consignamos los resultados en el gráfico, expresándolos en toneladas.

Con los empujes y pesos obtenidos hemos hecho la composición de esfuerzos para obtener las resultantes primeramente en las dos secciones horizontales AB y MN, consignando en ellas las distancias del punto de paso al extremo de la sección más próxima. Hemos marcado también el extremo más inmediato del núcleo central, designado con la letra *n*.

Aceptada la ley trapecial de repartición de presiones, se han obtenido los esfuerzos verticales correspondientes con embalse lleno en los dos extremos de cada sección por las conocidas fórmulas

$$p_{\text{mín}} = \frac{6d - 2a}{a} \times \frac{P}{\Omega}$$
$$p_{\text{máx}} = \frac{4a - 6d}{a} \times \frac{P}{\Omega}$$

en que *d* es la distancia del punto de paso al extremo más próximo y *a* la longitud de la junta.

En la sección intermedia AB se ha obtenido $p_{\text{mín}} = 0{,}66$ kg por centímetro cuadrado; $p_{\text{máx}} = 6{,}96$ kg por centímetro cuadrado.

En la base ha resultado $p_{\text{mín}} = 0{,}31$ kg por centímetro cuadrado y $p_{\text{máx}} = 9{,}8$ kg.

Estos valores máximos de 6,96 y 9,8 aún habían de

multiplicarse por $(1 + tg^2 \theta)$ para obtener los que se producen según la dirección del paramento de agua abajo, y obtendríamos:

Sección intermedia: $6{,}96 \times (1 + tg^2 \theta) = 7$ kg
Idem en la base: $9{,}8 \times (1 + tg^2 \theta) = 10{,}36$ kg

donde se observa que no se excede el valor de 11 kg por centímetro cuadrado, que es el que dice el autor del proyecto que ha hallado en sus cálculos.

Con lo que queda expuesto hemos hecho una ligera comprobación de la estabilidad, que podríamos completar determinando más valores por el procedimiento del círculo de equilibrio (descrito por Kambo), y que el autor del proyecto dice haber empleado para otros muchos puntos del perfil.

Este trabajo no tendría objeto, dado que nuestros valores no habrían de ser más que aproximados, y no los creemos necesarios, puesto que también nos harían llegar a la conclusión de que encontramos bien proyectada la presa de arcos múltiples, de lo cual es una comprobación el haber permanecido sin deterioro alguno toda aquella parte de la margen derecha, en que muchos de los contrafuertes y bóvedas tienen la misma altura que la porción arruinada.

Y si bien introduciríamos en ella algunas reformas para disminuir el ángulo que forman con la vertical las resultantes obtenidas, estas modificaciones no alteran la opinión de que la presa de arcos múltiples ha podido ser estable, presentando a la vista aspecto de solidez, no obstante lo cual se ha conseguido, con verdadero arte, darle esbeltez y elegancia, que se demuestra bien en las fotografías.

Excluyamos, pues, otra causa y veamos las que concurren en el sitio donde se produjo la rotura.

El trazado en planta es curvo, y aunque la Instrucción italiana dando normas para la redacción de proyectos de presas (D. M. de 2 de abril de 1921) proscribe los trazados en curva para este sistema, salvo justificación especial, no vemos inconveniente en que se adopte, si el terreno lo exige, como se ha hecho para la del lago Eleanor, en California.

Se nos ha dicho que se pensó construir la presa según el perfil de gravedad para darle menor altura, y posteriormente se cambió de parecer para aumentarla, estableciendo sobre aquél que había de macizar la hoya el sistema de arcos múltiples. No sabemos si la superposición de los dos perfiles se pensó de antemano o ya construído el de gravedad se amoldó a él el de la presa de arcos múltiples. Decimos esto, porque la unión de ambos perfiles exige un estudio muy detenido de las diferencias en las condiciones de trabajo de uno y otro.

La subpresión tiene poca importancia en el de arcos múltiples, como es sabido, y, en cambio, es muy de tener en cuenta en el de gravedad, y tanto es así, que en la mencionada Instrucción italiana se ordena para el tipo de gravedad que se tenga en cuenta una subpresión dependiente de la naturaleza del terreno y de la altura de la presa, la cual debe aplicarse con intensidad decreciente desde el paramento de agua arriba, donde se expresa por $m.\ d.\ z.$, en que m es el coeficiente variable; d, la densidad del agua, y z, la altura, hasta o, en el paramento de agua abajo.

Para el caso que examinamos, en el que excede la altura de 25 m, el coeficiente m debe ser 1/3, y, por tanto, para la profundidad de 29 m por debajo del nivel del agua a que se encuentra el punto S, corresponden 9,66 ts por metro cuadrado, o sea 0,96 kg por centímetro cuadrado, aunque pequeña, mayor que el esfuerzo de compresión que en él se produce.

En la figura correspondiente se deduce, con arreglo a la ley trapecial, que los esfuerzos normales en los extremos de la sección ST son: 0,23 y 5,07 kg por centímetro cuadrado.

Por tanto, en el paramento de agua arriba se puede desarrollar una tensión, y si existe alguna fisura apreciable en la fábrica, puede aquélla aumentar, contribuyendo a ello las bajas temperaturas con las cuales coincidió la rotura, que pueden producir contracción grande en los morteros y dilataciones en el agua infiltrada al tender hacia la solidificación, circunstancia que creemos pertinente consignar por analogía con la prescripción de la circular italiana ya citada, que para parajes de altas latitudes recomienda tener en cuenta el esfuerzo de la dilatación que la capa superior del embalse, al helarse, puede producir en la coronación de la presa y señala valores para tal esfuerzo.

Para contrarrestar posibles esfuerzos de tensión en el paramento de agua arriba de los contrafuertes se han dispuesto, según su talud, fuertes barras. ¿Se han prolongado éstas al macizo inferior, llevándolas hasta la roca, para contrarrestar los esfuerzos señalados? Nosotros no hemos visto restos de ellas, lo que no excluye, sin embargo, la posibilidad de que hayan existido, si han resultado cortadas, como otras barras, al ras del terreno.

¿Se han tomado además disposiciones para el enlace de los contrafuertes en la parte de agua abajo con el macizo de apoyo, al objeto de aumentar la resistencia al deslizamiento, que, aunque teóricamente aparece asegurada, dadas las inclinaciones de las resultantes, debe aumentarse siempre con exceso?

Sean cualesquiera las causas iniciales del fenómeno, el modo de producirse la rotura parece haya sido al principio el de deslizamiento originado por la existencia de una solución de continuidad, según la superficie que hoy ha quedado al descubierto o alguna un poco superior, si, como es de suponer, los materiales movidos han sido arrastrados.

Las grietas que se advierten en la parte posterior del macizo de fundación y la pequeña traslación que se observa al pie del contrafuerte ruinoso son comprobación de ello. El movimiento de un contrafuerte comienza a producir la rotura de los elementos inmediatos, las bóvedas y la ruina sucesiva de los demás, que es de advertir se ha detenido al terminar el macizo central de mampostería.

CONCLUSIONES RELATIVAS AL FENÓMENO DE LA ROTURA

Repetiremos en este lugar lo que dijimos al principio de la parte correspondiente de la Memoria, y es la imposibilidad en que nos encontramos para formular más conclusiones precisas.

Aparte de falta de datos, que ya se enumeraron, se comprende perfectamentte que hubieran facilitado mucho nuestro estudio declaraciones del ingeniero proyectista y de los constructores, que no es necesario decir que no podíamos intentarlas. Ellas hubieran suministrado contestaciones a las interrogaciones formuladas en los anteriores párrafos.

No hay que negar que ha habido algún ligero descuido en algún punto de la construcción. No se observa en ella ese primor de ejecución en las fábricas de hormigón y de mampostería que deben exigirse en esta clase de obras. Por otra parte, el empleo de la cal hidráulica que, por lo menos, aparece en el interior del macizo de sustentación, no es conveniente, por la posibilidad de un retraso grande de endurecimiento.

De esto puede deducirse una reducción del coeficiente de seguridad; pero además puede alterarse el resultado del cálculo teórico, que se funda en ciertas hipótesis de relación de coeficientes de elasticidad, coincidencia de las de dilatación, etc., que pueden resultar modificadas.

Si, además, aunque queden contrarrestados por la disposición de la obra los esfuerzos desarrollados, no se ha tenido un exceso de previsión siempre conveniente para oponerse a tensiones y deslizamientos siem-

pre posibles en las superficies de asiento de la presa de arcos múltiples sobre el macizo de mampostería que cerraba la obra y en el paramento de ésta, como consecuencia de una subpresión excesiva, aumentada por la disminución de temperatura, puede explicarse el desastre de una obra bien proyectada y perfectamente racional, contra cuyo sistema nada puede deducirse por el hecho que ha ocurrido.

Terminaremos esta parte del trabajo consignando que en estos momentos se estará redactando quizás el informe pericial sobre las causas de la catástrofe, para el cual existirán datos y fundamentos muy exactos y extensos, y avalorada con la gran competencia de quienes lo tienen a su cargo, será seguramente muy concluyente y concretará y hará la debida ponderación sobre las causas que han producido la ruina. El ingeniero que suscribe espera poder conocer dicho trabajo, y como ampliación al actual, lo dará a conocer en su día en esta REVISTA.

CONCLUSIONES FINALES

Como se ha repetido ya varias veces, un museo de accidentes enseña más que un museo de obras terminadas, y por ello, del caso que examinamos, creemos que pueden deducirse algunas conclusiones que, en nuestra modesta opinión, pueden ser de algún interés.

Con respecto al caso concreto de la obra que da lugar a este trabajo, manifestamos:

1.° Que en nada modifica el desgraciado suceso el criterio respecto al empleo de sistemas de presas de arcos múltiples, que pueden en muchos casos producir economía en coste y rapidez en la ejecución.

2.° Que estimamos, si cabe, tan necesario el cálculo minucioso de los contrafuertes como el de las bóvedas, y de la determinación precisa de los esfuerzos máximos en los diversos puntos debe deducirse la colocación racional de las armaduras para contrarrestar los esfuerzos de posibles tensiones.

3.° Que debe dedicarse gran atención a la fundación de este sistema de presas, ya sobre el terreno natural, ya sobre plataformas macizas, para evitar los efectos de subpresiones, que deben preverse siempre.

4.° Que no debe olvidarse, para presas situadas a gran altura, tener en cuenta los efectos de las bajas temperaturas.

5.° Que sería muy interesante que se hiciera una recopilación de monografías de las presas construídas de este sistema, con indicación de los procedimientos de cálculos seguidos en cada una de ellas.

Y por lo que respecta a las enseñanzas que en general pueden deducirse del suceso ocurrido, nos hemos permitido someter a examen de la Superioridad, por si merecen ser tomadas en consideración, las siguientes propuestas:

1.ª Sería conveniente que se redactaran normas generales relativas a los proyectos de presas de embalse análogamente a las que tiene la Administración italiana.

2.ª Podría recordarse y exigirse, sin excusa alguna, la inmediata dirección técnica que prescriben los Reglamentos de servicios actuales en las obras de importancia y la muy asidua inspección de las dependencias del Estado que deben intervenir en ellas.

3.ª Podría ser conveniente la creación de una Comisión de especialistas en obras y cálculos de hormigón armado, que se agregaría circunstancialmente al Consejo de Obras públicas para la revisión detallada de cálculos y disposiciones como base puramente informativa para el dictamen de aquel Centro, que se ocuparía de todos los proyectos que, a juicio del Negociado correspondiente del Ministerio, conviniera por su importancia someter a examen de la misma, sea cualquiera la clase y destino de la obra, y cuando se tratare de las proyectadas por entidades o particulares, a juicio de la Jefatura de servicio a cargo de la cual estuviese la redacción del informe correspondiente.

Eduardo FUNGAIRIÑO
Ingeniero de Caminos

Las comunicaciones ferroviarias de Galicia

Con este mismo título, y en el número de esta REVISTA de fecha 1.° de enero del corriente año, se publicó un artículo, sin firma, incluído en la sección denominada "Crónica", en el que se aboga por la construcción, por cuenta del Estado, del ferrocarril Santiago-Betanzos (Cortiñán), y en favor del cual ha ido recientemente a Madrid una Comisión de elementos distinguidos de varias ciudades interesadas.

Como la naturaleza del artículo mismo, sin firma, y el contenido en que se habla del honor del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, empeñado en la construcción de este ferrocarril, pudiera hacer creer que esta aspiración muy respetable de los elementos interesados en la construcción del mismo era compartida o avalada por todo el Cuerpo de que me honro al pertenecer, y además se hablaba también de intereses más o menos particulares que se oponían a la razón, con lo que parece aludirse a la Comisión de la ciudad de La Coruña que fué a Madrid a pedir y razonar la reforma del anticuado plan de ferrocarriles de 1908 en la provincia de La Coruña, y de la que tuve el honor de formar parte como asesor técnico, me creo en la obligación de rectificar las afirmaciones contenidas en dicho artículo y dejar sentado que las aspiraciones de cuantos nos hemos opuesto a la construcción del proyectado ferrocarril Santiago-Cortiñán, al defender los intereses de la región de La Coruña, no pretendemos sacrificar intereses respetables de ninguna clase, sino buscar una solución armónica que, realizando la unión muy conveniente de Santiago con Betanzos, no deje aislada a La Coruña, ciudad de 80.000 habitantes y puerto el más importante del Norte de Galicia.

A cualquiera que conozca la región gallega le salta a la vista la necesidad de la unión ferroviaria de la ciudad y puerto de La Coruña con Santiago, dos ciudades de importancia y tráfico intenso, que bien merece un medio de transporte cómodo, rápido y económico que las una, que sustituya a las diez líneas de ómnibus automóviles que hoy día realizan este servicio, y cuyo tráfico actual de viajeros asciende a más de 125.000 anuales entre ambas ciudades.

Claro está que este servicio de automóviles, dada la importancia del tráfico, ha ido mejorando en forma extraordinaria, verificándose salidas frecuentes con magníficos ómnibus de neumáticos gigantes, que hacen corrientemente el recorrido de los 64 kilómetros que por carretera separan ambas ciudades en dos horas, duración que aún reducen a una hora y media las varias líneas de coches de turismo que les hacen la competencia, y cuyo precio para todo el recorrido es de sólo 11 pesetas por asiento, el cual, como es natural, es aún inferior en los ómnibus citados.

Esta necesidad de la unión ferroviaria de La Coruña con Santiago, cuya importancia regional es aún mayor si se tiene en cuenta que esta línea, prolongada ya a Pontevedra y Vigo, es la arteria diagonal que ha de unir los dos principales centros comerciales de Galicia, y cuyo porvenir puede ser más importante todavía si